

Vk

TIEN PENKEREEN JA SITOMAT- TOMIEN RAKENNEKERROSTEN RAKENTAMINEN

**TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
JÄRJESTELYTOIMISTO**

TVH 2.899 A4

ASKO SAARELA

**TIEN PENKEREEN JA SITOMAT-
TOMIEN RAKENNEKERROSTEN
RAKENTAMINEN**

**TIE - JA VESIRAKENNUSHALLITUS
JÄRJESTELYTOIMISTO**

TVH 2.899 A4

ALUE- JA
TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO
TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO
TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO
TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO

A l k u s a n a t

Teiden rakentajille on laadittu joukko yleisiä työselityksiä ja laadunvalvontaohjeita, joiden avulla on määritelty tienrakennuksessa pyrkimyksenä oleva vähimmäislaatutaso. Tällaisilla normiluonteisilla kirjoituksilla ei kuitenkaan ole mahdollista yksityiskohtaisesti määritellä kulloinkin käytettäväksi soveltuvaa konekantaa ja työtapaa. - Tämän kirjoitelman varsinainen tarkoitus on antaa lukijalle viitteitä, millä tavoin ja millaisilla koneyksiköillä vallitsevissa olosuhteissa eräät tien maarakennustyöt voidaan suorittaa edullisesti silloin, kun tavoitteena on vaadittu laatutaso ja konevalintamahdollisuudet ovat kenties rajoitetut.

Helsingissä huhtikuussa 1975

Asko Saarela

SISÄLLYSLUETTELO

1.	YLEISTÄ RAKENTAMISESTA	1
1.1	Penkereen rakentaminen	1
1.2	Eristyskerroksen rakentaminen	2
1.3	Jakavan kerroksen rakentaminen	3
1.4	Kantavan kerroksen rakentaminen	4
1.5	Laatuvaatimukset	4
2.	MATERIAALIN ALKUKÄSITTELY	5
2.1	Kuormaus	5
2.2	Kuljetus	8
3.	MATERIAALIN KÄSITTELY RAKENNUSKOHTEESSA	11
3.1	Levitys	11
3.2	Tiivistys	16
3.21	Penkereen tiivistäminen	17
3.22	Eristyskerroksen tiivistäminen	17
3.23	Jakavan kerroksen tiivistäminen	20
3.24	Kantavan kerroksen tiivistäminen	21
3.3	Viimeistely	21
4.	MATERIAALIN KÄSITTELYVAIHEIDEN TAHDISTAMINEN	24
4.1	Penkereen rakentaminen	24
4.2	Eristyskerroksen rakentaminen	26
4.3	Jakavan kerroksen rakentaminen	26
4.4	Kantavan kerroksen rakentaminen	28

KIRJALLISUUSLUETTELO

TIEN PENKEREEN JA SITOMATTOMIEN RAKENNEKERROSTEN RAKENTAMINEN

Tavanomaisissa teissä runko tehdään yleensä maa-aineksista. Vuonna 1973 tehtiin maapenkereitä noin 7 500 000 m³rtr. Rakentamiskustannukset olivat noin 13,6 mmk (noin 1,82 mk/m³rtr). Suodatin- ja eristyskerrosta tehtiin noin 3 300 000 m³rtr ja kyseisten kerrosten rakentamiskustannukset olivat noin 27,6 mmk (noin 8,45 mk/m³rtr). Ilman materiaalin ja kuljetusten osuutta olivat rakentamiskustannukset noin 11,6 mmk eli noin 3,32 mk/m³rtr. Jakavaa kerrosta rakennettiin noin 3 200 000 m³rtr. Kustannukset olivat tällöin noin 41,3 mmk (12,90 mk/m³rtr). Kustannukset ilman materiaalin ja kuljetusten osuutta olivat noin 20,1 mmk (noin 6,25 mk/m³rtr). Sitomatonta kantavaa kerrosta tehtiin noin 2 000 000 m³rtr ja sen rakentamiskustannukset olivat noin 44,0 mmk eli noin 22,00 mk/m³rtr. Jos materiaalin ja kuljetusten osuutta ei oteta huomioon, olivat kantavan kerroksen rakentamiskustannukset noin 18,5 mmk (noin 9,25 mk/m³rtr).

Seuraavassa tarkastellaan maapenkereen, suodatin- ja eristyskerroksen sekä jakavan kerroksen rakentamista etupäässä syys- ja talviolosuhteissa sekä kantavan kerroksen tekoa kesäolosuhteissa. Lisäksi käsitellään lyhyesti savipitoisten maalajien käyttöä penkereessä, jolloin rakentaminen ajoittuu kesäkauteen.

Rakentamiseen sisällytetään materiaalin irroitus ja kuormaus sekä kuljetus, materiaalin levitys ja tiivistys sekä pinnan profilointi kerroksen päältä ja sivuilta.

1. YLEISTÄ RAKENTAMISESTA

1.1 Penkereen rakentaminen

Ennen varsinaisen penkereen rakentamista suoritetaan tielinjalla erinäisiä toimenpiteitä penkereen alustan puhdistamiseksi kasvillisuudesta, kannoista, pintakivistä, jätetuista, ruokamullasta yms. sekä pohjan vahvistamiseksi.

Yleensä raivausjätteet kuljetetaan osaksi pois, osaksi hävitetään paikalla ja osaksi jalostetaan myöhempiä tarkoituksia varten. Tiepohjaa voidaan vahvistaa tarvittaessa muun muassa tiivistyksellä, paalutuksella, teloilla, syväojituksella sekä erilaisilla stabiloinneilla.

Tiepohjan muotoilua ja vahvistamista koskevat toimenpiteet tulee suorittaa mahdollisimman kuivissa olosuhteissa mahdollisuuksien mukaan varsinkin, jos tiepohja sisältää koheesiomaita. Mikäli tiepohja ei vaadi eri-

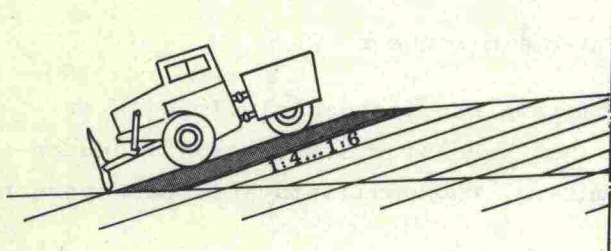
tyisvahvistustoimenpiteitä, tulee varsinkin savipitoiset pohjamaat tiivistää joko kumipyörä- tai sorkkajyrällä.

Ennen pengermateriaalien ajoa rakennuskohteeseen tulee alustan olla oikein muotoiltu sekä ehdottoman puhdas ja vapaa jäältä, lumesta tai vesipesäkkeistä.

Penkereen rakentamisessa voidaan käyttää kolmea erilaista pengerrystä: kerrospengerrystä, päätypengerrystä ja kiilapengerrystä. Tässä tutkielmassa tarkastellaan etupäässä kerros- ja kiilapengerrystä.

Kerrospengerrystä käytetään varsinkin penkereen yläosassa, ja rakentaminen tapahtuu vaakasuorina kerroksina. Kerralla rakennettavan kerroksen paksuus määräytyy käytössä olevan materiaalin sekä levitys- ja tiivistyskoneen perusteella. Alin penkereen kerroksista voidaan tehdä suhteellisen paksuksi (enintään kuitenkin 1 m), jos pohjamaan kantavuus on riittämätön tätä ohuemman kerroksen rakentamiselle.

Kerrospengerryksen sijasta on mahdollista rakentaa penger kiilapengerrystä käyttäen. Penger tehdään tällöin lopulliseen korkeuteensa. Materiaali tuodaan valmiin penkereen puolelta kiilan yläosaan, josta levityskone työntää materiaalin 1:4...1:6 kaltevaa **päätyluiskaa** alas soveltuvan paksuisena kerroksena (ks. kuva 1). Kiilapengerryksessä tulee käyttää yhdistelmäkonetta, puskulevyllä varustettua kumipyöräjyrrä (JK20P) tai sorkkajyrrä (JSM20P).



Kuva 1. Kiilapengerrys

1.2 Eristyskerroksen rakentaminen

Eristyskerroksen tehtävänä ensi sijassa on eliminoida routavaikutusta tiessä. Tämä voi tapahtua eristämällä pohjamaa erilaisilla eristysma-

teriaaleilla, jolloin roudan tunkeutuminen alaspäin vähenee. Lisäksi eristyskerros saattaa kuivatusominaisuudellaan vähentää tien routimisilmiöitä.

Eristyskerroksella on myös tien kantavuutta parantava vaikutus, mikäli kiviaines ei ole hyvin tasarakeista. Tasarakeisella kiviaineksella on hyvä eristys- ja kuivatuskyky suurehkosta huokoisuudesta johtuen, mutta samalla sen stabiliteetti voi olla heikohko. Tasarakeinen kiviaines asettaa rajoituksia muun muassa tiivistyskaluston laadulle.

Eristyskerros ehkäisee myös hienorakeisen pohjamaan tunkeutumista ylöspäin. Toisinaan käytetään suodatinkerrosta tässä tehtävässä, mikäli sopivaa kiviainesta ei ole saatavissa.

Eristyskerrosta käytetään yleensä D-, E- ja F-luokan (routivalle) alusrakenteelle tehtävässä tien päällysrakenteessa. Eristyskerroksen paksuus määritetään tavallisesti päällysrakenneluokan ja alusrakenneluokan mukaan ja sitä voidaan vaihdella jakavan kerroksen paksuutta muuttamalla kiviaineslaadusta riippuen.

Eristyskerrosta levitetään tavallisesti altapengerrysmenetelmällä. Alusrakenne pitää ehdottomasti olla oikein muotoiltu ja lumesta puhdistettu ennen hiekan levitystä, sillä muutoin on vaarana, että alusrakenteen pintaan jää vesipesäkkeitä koko tien kestoajaksi heikentäen tien kestävyyttä.

1.3 Jakavan kerroksen rakentaminen

Jakavaa kerrosta käytetään yleensä C-, D-, E- ja F-luokan alusrakenteelle tehtävässä päällysrakenteessa. Jakavan kerroksen paksuus määriytyy tavallisesti alusrakenne- ja päällysrakenneluokan perusteella, ja sitä voidaan vaihdella eristyskerroksen tai kantavan kerroksen paksuuksien mukaan kiviaineslajista riippuen.

Jakava kerros jakaa sen päällä olevien kerrosten välittämää kuormitusta edelleen alaspäin laajemmalle alueelle. Lisäksi jakava kerros toimii tiessä eristävänä komponenttina eristyskerroksen tapaan.

Jakava kerros levitetään tavallisesti päätypengerrysmenetelmällä joko yhtenä tai kahtena kerroksena. Mikäli talvella ulkoinen lämpötila ei ole alle 0°C :n, voidaan eristys- ja jakavan kerroksen rakentaminen kytkeä yhteen niin, että välittömästi eristyskerroksen levityksen (ja tasoituksen) jälkeen levitetään kyseeseen kohteeseen jakava kerros (tai sen alaosa) ja suoritetaan molempien kerrosten tiivistäminen täryjyräl-

lä (esimerkiksi JTMOOK tai JTM06...09). Jos eristyskerros ja jakava kerros tiivistetään kahdessa vaiheessa erikseen, tulee kumipyöräjäyrää käyttä (JK20) molempien kerrosten tiivistämisessä.

1.4 K a n t a v a n k e r r o k s e n r a k e n t a m i n e n

Kantavan kerroksen tehtävänä on lisätä tien kantokykyä sekä muodostaa päällysteelle tukeva ja muotonsa säilyttävä alusta. Kantava kerros voidaan tehdä joko yhtenä tai kahtena kerroksena.

Kantavan kerroksen rakentamisessa käytetään useita erilaisia menetelmiä. Menetelmät poikkeavat erityisesti levitystyön suorituksen osalta. Tavallisesti levitystyössä käytetään joko levityskelkkaa ja/tai tiehöylää. Myös pyörätraktoria (TRN06P) ja kevyttä telapuskutraktoria PT00...PT05) on käytetty. Levityksen jälkeen kerros tasataan tiehöylällä ja tiivistetään. Alaosan päälle levitetään sitten joko kelkalla tai tiehöylällä kerroksen yläosa. Pinnan tasaus tehdään tiehöylällä ja kerrosta tiivistetään kumipyöräjäyrällä. Yleensä kaikissa tapauksissa tiehöylän käyttö pinnan tasaamiseksi on välttämätöntä.

1.5 L a a t u v a a t i m u k s e t

Alusrakenteen ja sitomattomien päällysrakennekerrosten rakentamistöiden lopputulokselle on asetettu tiiviys- ja tasaisuusvaatimuksia. Tiiviysvaatimukset riippuvat päällysrakenneluokasta ja penkereellä lisäksi kysen kohdan etäisyydestä tien tasausviivasta.

Alusrakenteessa sallitaan pituussuuntaisesti keskimääräisesti -5 cm poikkeama suunnitellusta tasosta (yksittäisesti -10cm).

Alusrakenteen tiiviysvaatimukset sekä päällysrakenteen tarkasteltavina olevien osien tiiviys-, kantavuus- ja tasaisuusvaatimukset esitetään taulukoissa 1 ja 2 /8/.

Taulukko 1. Sitomattomien päällysrakennekerrosten korkeustaso,-tasaisuus-, kantavuus- ja tiiviysvaatimukset.

Kerros	Päällysrakenneluokka	Suurin sallittu yksittäinen poikkeama mm	Suurin sallittu epätasaisuus 5 m matkalla mm	Pienin sallittu keskim. kantavuus E_2 MN/m ² (kp/cm ²)	Pienin sallittu yksittäinen kantavuus E_2 MN/m ² (kp/cm ²)	Suurin sallittu keskim. suhde E_2/E_1	Pienin sallittu keskim. tiivisyysaste % 3)	Pienin sallittu yksittäinen tiivisyysaste % 3)
Suodatin (ja eristys)	1...6	±50	50				95	90
	7...8	±60	60				—	—
Jakava	1...4			125 (1250)	87 (875)	4) 2,20	97	92
	5...6			100 (1000)	70 (700)	2,20	97	92
	1...6	2) —40,+0	30					
Kantava	1...4			175 (1750)	122 (1225)	2,20	97	92
	5...6			150 (1500)	105 (1050)	2,20	97	92
	1...6	±20	20					
	7...8	±20	30					

1) Yksittäistulosten suurin sallittu suhde E_2/E_1 saadaan liitteestä 2.

2) Louhepenkereellä —4, +2

3) Mikäli rakennekerrosten materiaali on niin karkeaa, että Proctor-kokeen suoritus on vaikeaa, ei tiivistysvaatimus ole voimassa.

4) Louhepenkereelle E_2/E_1 saa olla yli 2,20, jos keskimääräinen E_1 on vähintään 60 % pienimmästä sallitusta keskimääräisestä E_2 :sta.

Taulukko 2. Tiivistysasteiden keskiarvon vähimmäisvaatimukset penkereelle ja alusrakenteen yläpinnalle.

	Syvyys tien tsv:stä m	Pengermassojen tai leikkauspohjan kantavuusluokka			
		B	C ja D	E (ja hiesu)	F
Penger					
Päällysrakenne 1...4	< 2	95	95	92	—
	2,0—5,0 (3,0)	90	90	87	—
	> 5,0 (3,0)	Ei vaat.	Ei vaat.	Ei vaat.	—
Päällysrakenne 5...6	< 3,0	90	90	87	—
	> 3,0	Ei vaat.	Ei vaat.	Ei vaat.	—
Päällysrakenne 7...8		Ei vaat.	Ei vaat.	Ei vaat.	—
Alusrakenteen yläpinta					
Päällysrakenne 1...6		97	95	92	Ei vaat.
Päällysrakenne 7...8		Ei vaat.	Ei vaat.	Ei vaat.	Ei vaat.

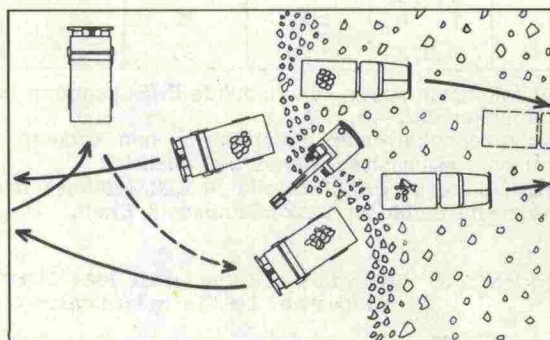
Poikkisuunnassa käytettävät kallistukset on esitetty mm. normaaleissa poikkileikkauspiirustuksissa.

2. MATERIAALIN ALKUKÄSITTELY

2.1 Kuorma

Kuormauskoneena käytetään tavallisesti hydraulisesti toimivia kuokka-kauhakoneita (KKH12K...KKH25K) ja pyöräkuormaajia (KUP09...KUP25). Kuormauskoneen valintaan vaikuttaa tarjonnan lisäksi mm. kuormattava materiaali (kaivuluokka), kuljetuskalusto (suuruus) sekä levitys- ja tiivistyskone.

Hydrauliset kuokkakauhakoneet soveltuvat yleensä pyöräkuormaaajia paremmin vaikeasti irroitettavien maiden (M1...M3) kuormaamiseen. Kuokkakauhakoneet työskentelevät yleensä leikkaustason yläpuolella. Kuormajan työsaavutus riippuu materiaalin irroitettavuuden ohella mm. koneen liikeradoista ja kuljetusvälineen sijainnista kuormajaan nähden. Hydrauliselle kuokkakaivukoneelle suositeltava työtapa esitetään kuvassa 2. Kuljetusvälineiden tulisi olla mieluummin rintauksen alapuolella, jotta koneen kääntymiset ja siirtymiset jäisivät vähäisiksi.



Kuva 2. Hydraulisen kuokkakaivukoneen työmenetelmä /4/.

Kuormauskoneen soveltuvuusalueet työsaavutusten osalta samoin kuin yksikkökustannukset esitetään kuvassa 7.

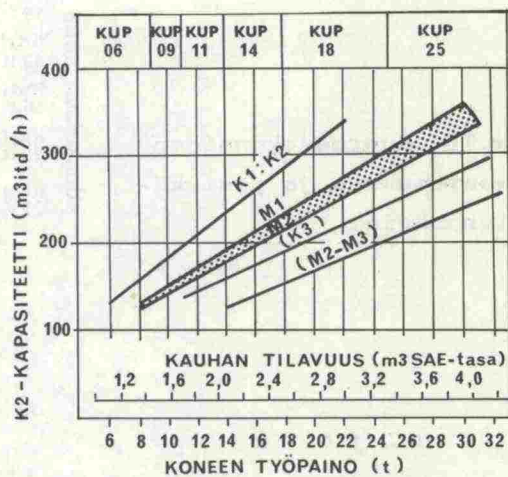
Pyöräkuormaaajat ovat käyttökelpoisia varsinkin hiekka- ja soramaiden kuormauksessa (kaivuluokat K1...K2), mutta niitä voidaan käyttää myös someron (K3) ja moreenin (M1...M2) kuormauksessa. Leveästä kauhasta sekä pistomaisesta täyttötavasta johtuen pyöräkuormajan työsaavutus saattaa aleta huomattavastikin vaikeasti irroitettavia maalajeja (K3, M2...M3) kuormattaessa. Pyöräkuormajan työsaavutus kauhan tilavuuden ja koneen painon funktiona ilmenee kuvasta 5. Kuvassa 6 esitetään pyöräkuormajan kuormausmenetelmiä. Kuvassa 7 esitetään pyöräkuormajan käyttöalueet kaivuluokan ja koneen koon mukaan sekä kuormauksen yksikkökustannushinnat.



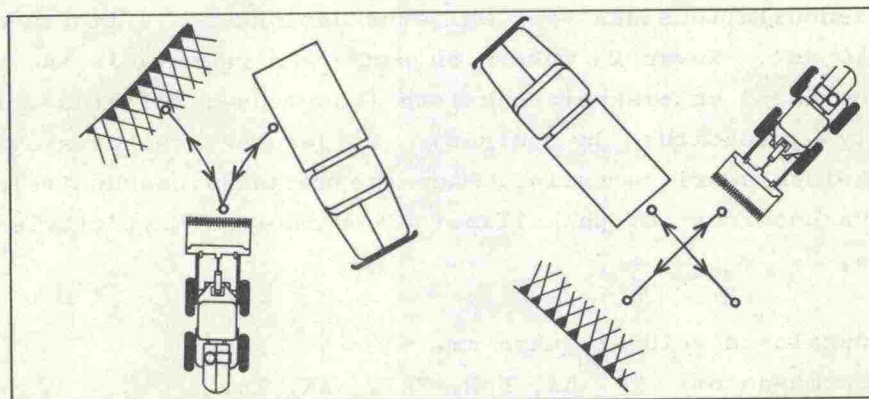
Kuva 3. Hydraulinen pyöräkuormaaaja.



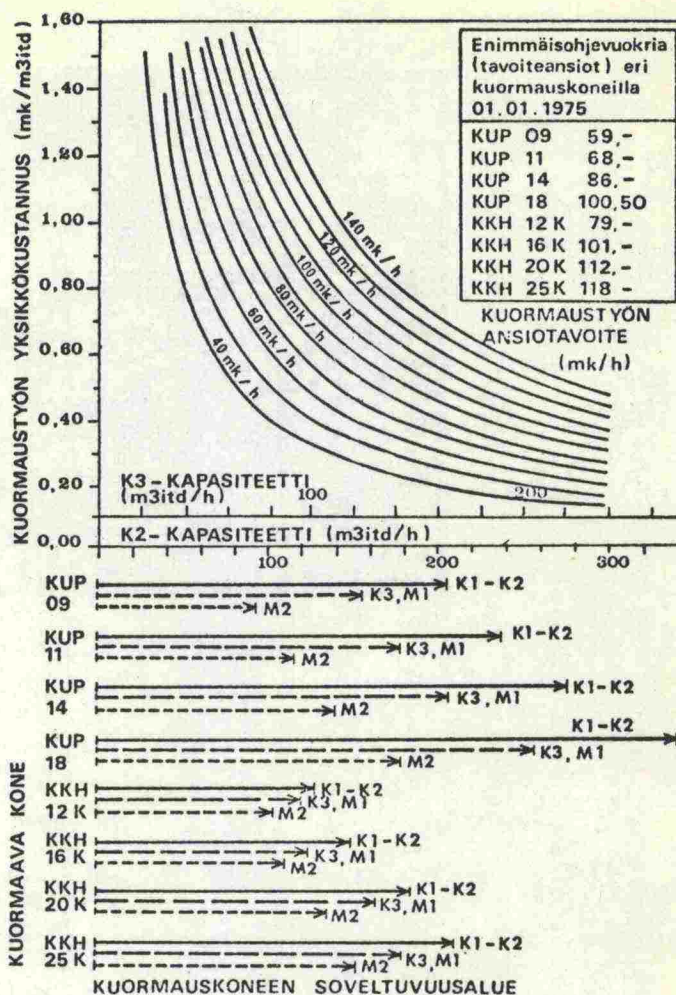
Kuva 4. Hydraulinen kuokkakauhakone.



Kuva 5. Pyöräkuormaajan menetelmä-kapasiteetti koneen koon ja kaivu-luokan funktiona.



Kuva 6. Pyöräkuormaajan työmenetelmiä.



Kuva 7. Kuormauskoneiden työsaavutuksia ja yksikkökustannuksia.

2.2 Kuljetus

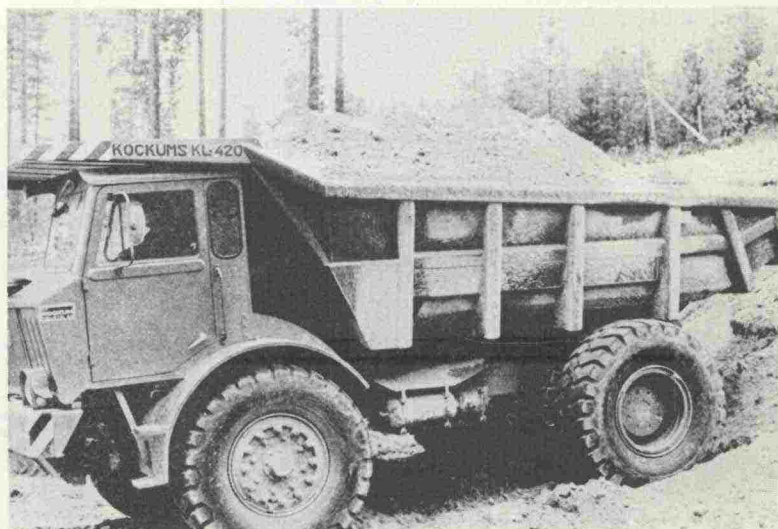
Kuljetuskustannukset ovat merkittävän suuret. Esimerkiksi tie- ja vesirakennuslaitoksessa ovat kuljetuskustannukset viime vuonna olleet noin 140 mmk. Kuvan 25 mukaan on penkereen rakentamisessa kuljetusten osuus noin 2/3 yhteiskustannuksista (kuorma-, kuljetus-, levitys-, tiivistys-, tasoitus- ja aputyöt). Kuljetukset vaikuttavat myös muiden työvaiheiden suorittamisiin. Maamassojen kuljetussuunnitelmassa on otettava huomioon mm. paikalliset olosuhteet ja käytettävissä oleva kalusto.

Kuljetuskalusto voidaan jakaa mm.

- kuorma-autot KA, KAN, KAY, KAK, KAT
- maansiirtoautot MA
- traktoridumpperit TRY, TRK, TRT
- traktori+perävaunuyhdistelmät.



Kuva 8. Kuorma-auto.



Kuva 9. Maansiirtoauto.



Kuva 10. Traktoridumpperi.



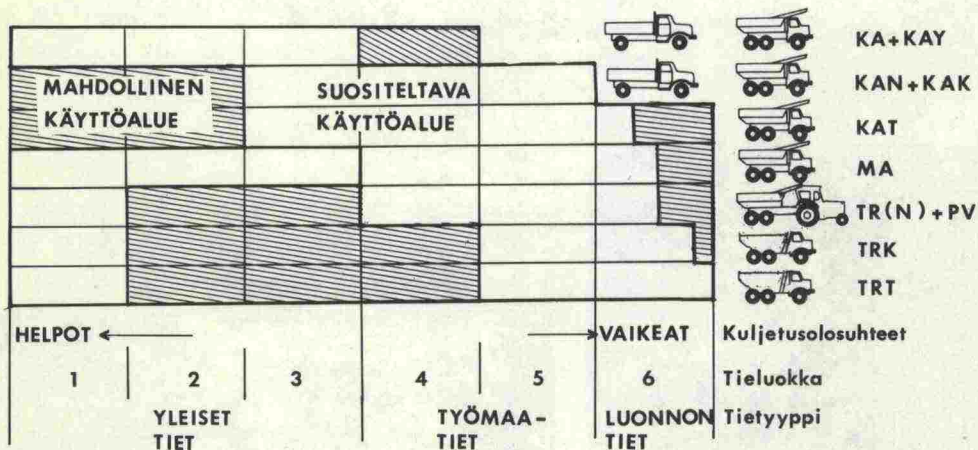
Kuva 11. Traktori-perävaunuyhdistelmä.

Kuorma-autot on tavallisesti suunniteltu maantieajoaon, eivätkä aina sovellu maasto-olosuhteissa massansiirtoon.

Maansiirtoautot ovat nimenomaan maan kuljetukseen tarkoitettuja koneita. Niitä voidaan käyttää, mikäli kuljetusreitit ovat kannattavia. Traktoridumpperit ovat erityisen vaikeisiin kuljetusolosuhteisiin soveltuvia kuljetusvälineitä. Niiden liikkumista helpottaa mm. isot pyörät ja suuri maavara. Lyhyillä kuljetusetäisyyksillä vaikeakulkuisessa maastossa ovat traktorivetoiset kuljetusvaunut usein edullisia.

Kuljetuskaluston valintaan vaikuttaa mm. työaikataulu, työkohteiden sijainti, siirrettävät massamäärät, käytettävissä oleva kalusto ja kuljetusolosuhteet. Maarakennustöissä on arvioitu olevan noin 8000 kuorma-autoa, 100 maansiirtoautoa ja 50 traktoridumpperia. Erikoiskaluston vähydestä sekä kuorma-autojen suhteellisen suuresta määrästä johtuen joudutaan usein käyttämään pelkästään kuorma-autokuljetusta.

Jos kuljetuskalusto voidaan valita usean tyyppisistä välineistä, kiinnitetään huomiota varsinkin kuorma- ja purkupaikan laajuuteen, kuljetusteihin ja -matkaan sekä siirrettävään maa-ainekseen. Ahtaalla kuormausta paikalla voidaan kuormauskoneen työmenetelmällä eliminoida osittain esiintyviä häirittejä. Rakennettavassa kohteessa vaikuttaa kuormien tulosuunta sekä kerralla rakennettavan kerroksen leveys levitys- ja tiivistystyön suoritukseen - työ sujuu jouheasti, jos kuljetus tapahtuu edestä käsin tai jos kerros on riittävän leveä (yli 6 m). Kuljetustien laatu voidaan ottaa kuljetusajoneuvojen valinnassa huomioon kuvan 6 mukaan.



Kuva 12. Kuljetuskaluston valinta tieluokkien mukaan /9/.

Kuljetusetiäisyyksien ollessa vain muutamia satoja metrejä saattaa olla edullista käyttää pyöräkuormaajia myös massojen siirrossa maanottopai-
kalta rakennuskohteeseen.

3. MATERIAALIN KÄSITTELY RAKENNUSKOHTEESSA

3.1 L e v i t y s

Levitystöissä on käytetty pääasiassa telapuskutraktoreita ja pyörätrak-
toreita. Myös tiehöyliä ja itsekulkevia jyriä on käytetty materiaalin
levittämisessä. Yleensä viime mainittujen koneiden päätehtävänä on jo-
kin muu kuin levitystyö: tiehöyliä käytetään tasaus- ja muotoilutehtä-
vissä ja jyriä tiivistystöissä.

Levitystöiden laajuutta kuvanee muun muassa se, että pelkästään maa-
massojen leikkaus- ja levityskustannukset ovat konetyön osalta olleet
noin 1/3 TVL:n kaikkien töiden konekustannuksista. Vastaavasti tiehöy-
lien, joilla pääasiassa viimeistellään rakenteita, osuus ollut noin 6 %.
Kokonaisuudessaan on levitystöiden osuus teiden rakentamiskustannuksis-
ta ollut noin 8 %.

Yksittäisestä levityskoneesta on oleellista tuntea sen suorituskyky eri-
laisissa olosuhteissa. Suorituskykyyn vaikuttavat mm. koneen ominai-
suudet, materiaalin laatu, rakennettavan kerroksen paksuus ja leveys
sekä työskentelyolosuhteet.

T e l a p u s k u t r a k t o r i t PT05, PT08

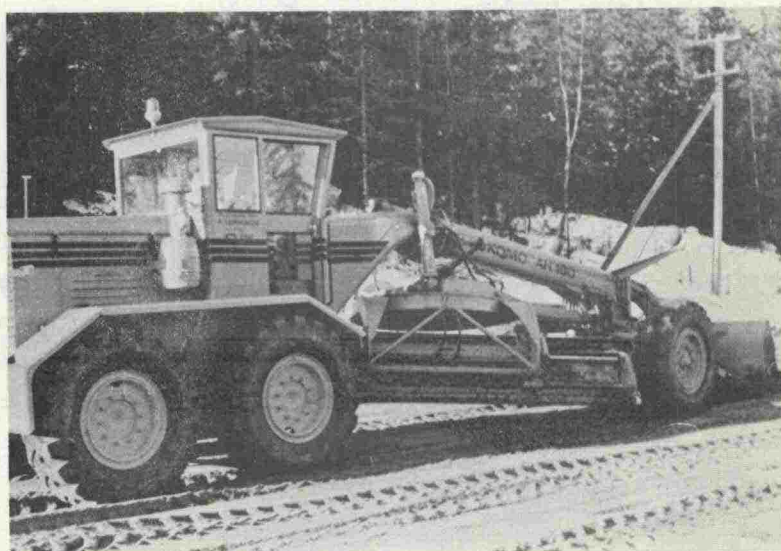
Telapuskutraktoreiden käyttö levitystöissä on yleistä. Telapuskutrak-
torit kykenevät levittämään suurehkoja massamääriä aikayksikössä ja li-
säksi ne ovat kulkukykyisiä sekä soveltuvat myös luiskatyöhön.

Hiekka- ja soramassojen levittämisessä voidaan käyttää tyypiltään PT05
ja PT08 olevia purskutraktoreita. Moreenimaan levittämisessä saattaa
PT05 osoittautua liian heikoksi varsinkin, jos kuormauskapasiteetti on
suurehko, yli 150 m³/h ja kerrospaksuus pienehkö, alle 0,30 m. Sen
sijaan PT08 soveltuu lähes kaikkiin levitystapauksiin kuormauskapasitee-
tista ja kerrospaksuudesta riippumatta.

Kuva 13. Telapuskutraktori.



Kuva 14. Tiehöylä.



Kuva 15. Puskulevyllä varustettu kumi-pyöräajyrä.



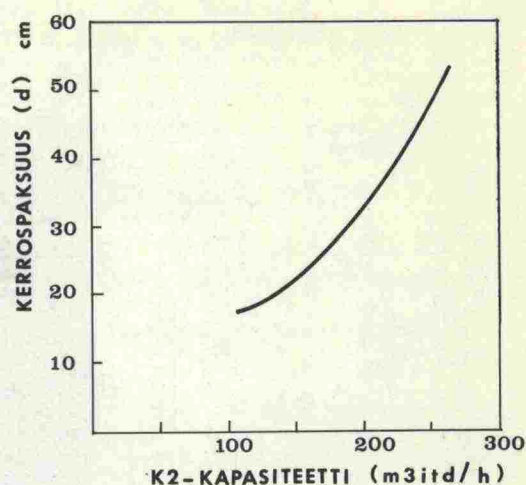
Puskulevyjyrää JK02P voidaan käyttää kaikenlaisten kiviainesten työstämiseen. Tosin varsin kivisten ja lohkareisten pengermassojen levitystyö hankaloittuu työkapasiteetin kohotessa yli $K2 = 200 \text{ m}^3/\text{h}$. Hiekka- ja sora-ainesten levitystyössä suoriutuu puskulevyjyrä JK02P hyvin vielä työvauhdin ollessa $K2 = 200 \dots 260 \text{ m}^3/\text{h}$ levitetyn kerroksen paksuudesta riippuen. Koska kyseisen koneen työskentelytapa on suoraviivaista, saattaa lohkareiden ja suurten kivien luiskaan työntäminen olla vaivalloista. Kuitenkin kerroksen leveydestä ($6 \dots 12 \text{ m}$) ja kerrospaksuudesta (yli $0,70 \dots 0,80 \text{ m}$) riippuen voidaan kuormauskapasiteetti kohottaa yli $K2 = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ massoissa esiintyvistä suurista kivistä riippumatta.

Koheesiomaapenkereiden rakentamisessa on käytetty myös puskulevyllä varustettua sorkkajyrää (JSM20P). Kyseisen koneen levityskyky on lähes rajaton penkereen rakentamisessa leveän puskulevyn, tehokkaan moottorin ja pitävien sorkkavalssien ansiosta.

Eristysmateriaalin levittämisessä on kerrospaksuudella vaikutusta koneen JK20P levityskapasiteettiin (kuva 16). Vastaavanlainen riippuvuus kerrospaksuuden ja koneen suorituskyvyn välillä on ilmennyt myös jakavan kerroksen teossa (myös kuva 16). Puskulevyllä varustetun kumipyöräjyrän JK20P suorituskyvyn ja kerrospaksuuden välinen yhteys saattaa eristys- ja jakavan kerroksen osalla poiketa, koska pengertämissuunta on erilainen: eristyskerros rakennetaan ns. altopengerryksenä ja jakava kerros ns. päältäpengerryksenä. Päältäpäin tapahtuva pengerrys saattaa vaikeutua kerrosleveyden aletessa alle $6,5 \text{ metrin}$, koska maansiirtotöissä tällöin häiritsevät levityskoneen työskentelyä. Lisäksi kuorman tyhjennyskohta vaikuttaa levityskoneen työhön.

Puskulevyllä varustettu kumipyöräjyrä JK20P soveltuu hiekka-, sora- ja moreenimaiden levitykseen, jos levityspaksuus on yli $0,25 \text{ m}$ ja kuormauskapasiteetti korkeintaan $150 \dots 200 \text{ m}^3/\text{h}$. Kerrospaksuuden kasvaessa kuormauskapasiteettia voidaan luonnollisesti suurentaa. Kyseessä olevan koneen työskentelyyn vaikuttaa huomattavalla tavalla myös inhimilliset tekijät, esimerkiksi koneen kuljettaja. Kuljettajan merkitys johtuu mm. koneen rakenteesta (näkyvyys eteen, puskulevyn liikkeet jne).

Kuva 16. Kerrospaksuuden ja levityskapasiteetin (K2) välinen yhteys eristys- ja jakavan kerroksen rakentamisessa puskulevyllä varustetulla kumipyöräjyrällä JK 20 P.



Koneen työskentelyä helpottaa, jos pengertäminen tehdään edestäpäin (altapengerrys) ja jos lisäksi korkeusmerkit sijaitsevat kerroksen ulkopuolella.

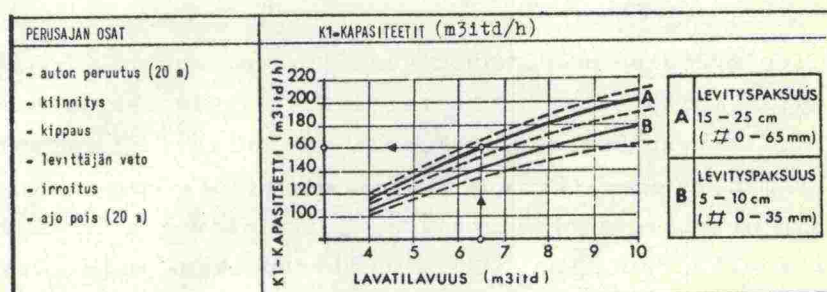
Puskulevyjyrät eivät kykene luiskatyöhön. Puskulevyn vajaavaiset liikumisominaisuudet saattavat lisätä jälkitasoitustyötä muihin levityskoneisiin verrattuna. On kuitenkin otettava huomioon, ettei kyseiset koneet olekaan tarkoitettu varsinaisesti levityskoneiksi, vaan koneiksi, jotka sekä levittävät että tiivistävät samalla kertaa materiaalin.

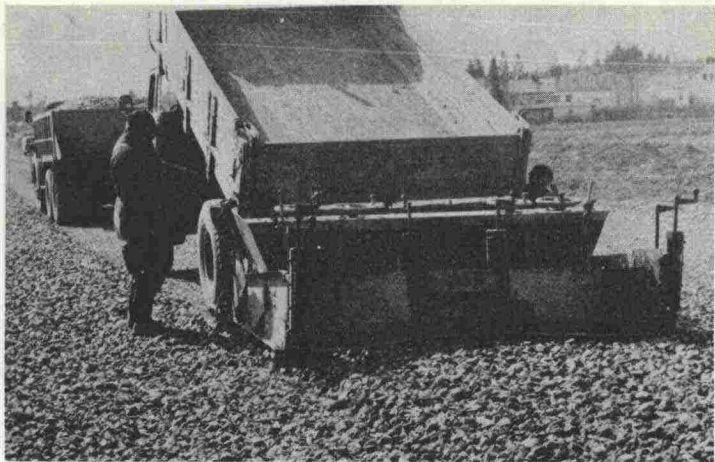
Levityskelkat (öljysorakelkat)

Levityskelkkoja käytetään maarakennustöissä kantavan kerroksen kiviaineksen levittämiseen. Levityskelkan avulla saatava levityskapasiteetti riippuu mm. levityspaksuudesta, työalueen pituudesta ja leveydestä sekä lavatilavuudesta.

Levityspaksuuden ja lavatilavuuden vaikutus levityskelkan peruskapasiteettiin ilmenee kuvasta 17. Työmenetelmästä johtuu, että käytännössä kapasiteetti (jatkuva työssä) on noin 85...97 % peruskapasiteetista työalueen pituudesta, levityskaistojen lukumäärästä ja levittäjien lukumäärästä riippuen (ks. taulukko 3). Jos työssä käytetään kahden levityskelkan lisäksi myös kahta työryhmää, kerrotaan taulukon 3 kapasiteetti-arvot luvulla 2,05.

Kuva 17. Levityskelkan peruskapasiteetin riippuvuus levityspaksuudesta ja lavatilavuudesta.





Kuva 18. Levityskelkka.

Taulukko 3. Menetelmäkapasiteetin ja peruskapasiteetin välinen suhde / 1 /.

MENETELMÄN LISÄAJAT	a1-KERTOIN						
<ul style="list-style-type: none">- miesten jaksottainen siirtäminen (n. 100 m)- Levittäjän kääntö seuraavalle kaistalle (⇐)- Levittäjän siirto seuraavalle työalueelle (S) <p>Huom:</p> <p>Kun työssä käytetään kahta levittäjää ja kahta työryhmää, taulukon yläosan arvot kerrotaan luvulla 2,05.</p>	LEVITYS- KAISTOJA kpl	TYÖMENETELMÄ	LEVIT- TÄJIÄ kpl	2 SM:n TYÖ- RYHMIÄ	a1 - KERROIN		
					TYÖALUEEN PITUUS		
	250 m	500 m	1000 m				
	2		2	1	0,96	0,96	0,96
	3		2	1	0,87	0,91	0,93
	4		2	1	0,91	0,94	0,96
	5		2	1	0,85	0,91	0,93
	2		1	1	0,85	0,91	0,94
3		1	1	0,91	0,95	0,95	
4		1	1	0,86	0,92	0,95	
5		1	1	0,89	0,95	0,97	

Käyttämällä vakiolevitysnopeutta voidaan kerros saada varsin tasavahvuiseksi. Levityskaistan leveyttä voidaan säätää sivuluukkujen avulla. Viimeisten kaistojen väliin mahdollisesti jäävä välikaista täytetään suoraan auton lavalta matoksi vetämällä. Tällöin välikaista tasoitetaan jälkeenpäin muun tasoituksen yhteydessä.

3.2 Tiivistys

Tien myöhäisemmän kunnon kannalta voidaan rakenneosien tiivistämistä pitää muita tässä tarkasteltavina olevia rakentamisvaiheita tärkeämpänä. Tiivistämistöiden luonne on suuresti riippuvainen **vuodenajasta** kylmänä **vuoden aikana** maa-aineksen tiivistyminen riippuu ratkaisevasti-kin ulkoisista olosuhteista, joita ei voida inhimillisillä toiminnoilla säädellä, kun taas lämpimänä **vuoden aikana** esimerkiksi eräitä materi-

aaliominaisuuksia voidaan muuttella. Edellä mainituista syistä on talvirakentamisessa otettava huomioon mahdollinen jälkitiivistämistarve, jolloin kyseinen tiivistäminen suoritetaan kesäolosuhteissa.

Tiivistämistöiden lopputulosta ei talvella voida tarkalleen ennakoida, mutta maan tiivistyvyyttä voidaan parantaa soveltuvien jyrien ja nopea-tempoisen työn avulla.

3.21 Penkereen tiivistäminen

Koheesiomaapenkereiden tiivistämisessä on suositeltavaa käyttää itsekulkevia sorkkajyriä (JSM20P). Kosteissa koheesiopitoisissa maissa (vesipitoisuus yli 20 %) saattaa sorkkajyrä JSM20P olla lähes ainoa ratkaisu penkereen saattamiseksi riittävän tiiviiksi. Tällöin kyseisen maan tiivistymiseltä edellytetään luonnollisesti, että sää on lämmin ja kuiva.

Maa-aineksen ollessa moreenimaata (esimerkiksi hkMr) voidaan penkereen tiivistyksessä käyttää edelleen sorkkajyrää JSM20P. Myös jyrätyypit JK20(P), JTM06...09 ja JTM00K on todettu soveltuviksi moreenipenkereiden tiivistyksessä.

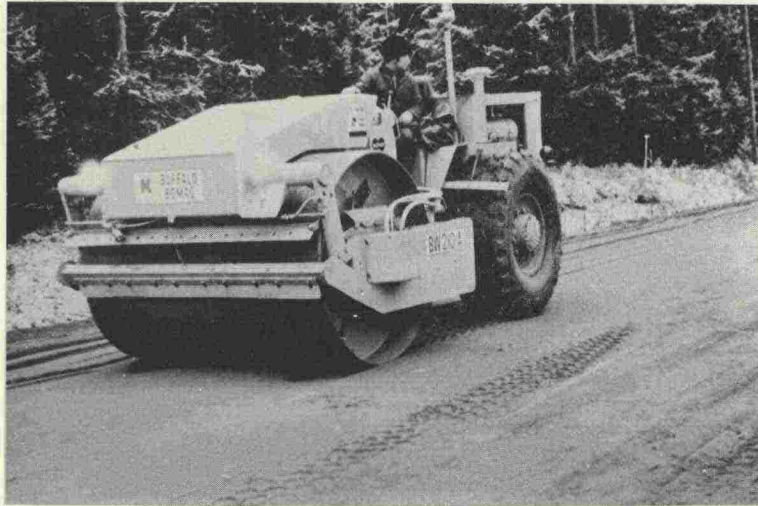
Louhospenkereiden tiivistyksessä täryjyrien JTM09 ja JTM00K käyttö on tarkoituksenmukaista, mutta myöskin täryjyrät JT05...JT10 ovat käyttökelpoisia.

Penkereen rakentamisessa suositeltavat kerrospaksuudet ovat noin 0,50...0,60 m käytettäessä em. jyriä. Raskailla täryjyrillä on olosuhteista ja kiviaineksesta riippuen mahdollista tiivistää toisinaan jopa 0,80...0,90 m paksuisia kerroksia.

3.22 Eristyskerroksen tiivistäminen

Pelkän eristyskerroksen tiivistämisessä ei kesäisissä olosuhteissa ilmene muuta vaikeutta kuin eräiden jyrien heikot liikkumisominaisuudet. Erittäin tasarakeista eristyskerrosta ei ole aina aiheellista tiivistää, koska tasarakeisella eristyshiekalla tiivistyminen on suhteellisen vähäistä tapahtuipa tiivistäminen suoraan kyseisen kerroksen päältä vai jakavan kerroksen päältä.

Kesäkautena soveltuvat eristyskerroksen tiivistämiseen jyrätyypit: JK20, JTM06 ja JT05. Eristyskerros tiivistyy sopivan kosteana vähällä jyräysmäärällä (tarvittava ylityskertamäärä 2...4). Usein saattaa eristyskerroksen kasteleminen olla vaivalloista, koska esimerkiksi kasteluauto ei aina kykene liikkumaan tasarakeisen ja kuivahkon hiekan päällä



Kuva 19. Omalla moottorivoimalla kulkeva kumipyörävetoinen täryvalssijyrä (JTM 00 K).



Kuva 20. Vedettävä täryjyrä (JT 05).

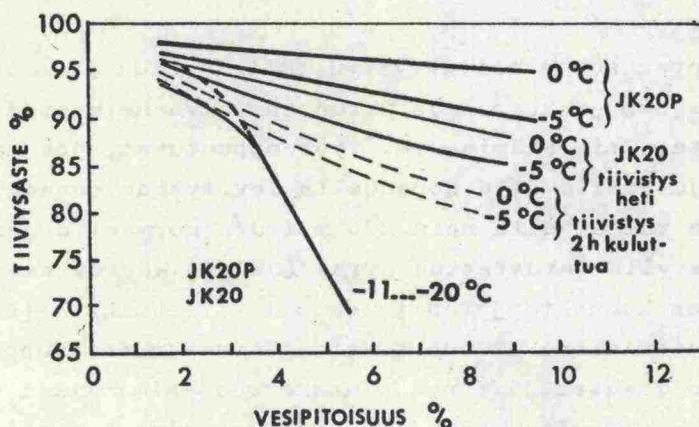
ja koska hiekan veden tarve on suuri, mutta samalla sen veden säilyttämiskyky heikohko (ts. vesi valuu nopeasti alas pohjamaalle). Tästä syystä on tärkeää, että eristyskerros tiivistetään

- 1) joko heti levitysvaiheessa (luonnon kosteana tai kasteltuna) tai
- 2) jakavan kerroksen (alaosan) päältä tai
- 3) jos jyrä kykenee liikkumaan, suhteellisen kuivana suoraan eristyskerroksen päältä.

Toisessa tapauksessa eristyskerrosta ei kannata edes yrittää kastella, sillä sen toteuttaminen jakavan kerroksen päältä on yleensä mahdotonta.

Tiivistyksessä tulee pyrkiä käyttämään vähintään 4...5 km/h jyräysnopeutta - kumipyöräjyrällä mahdollisuuksien mukaan suurempaakin.

Talviolosuhteissa eristyskerroksen tiivistyminen riippuu materiaalin vesipitoisuuden ja lämpötilan ohella myös työn suoritusnopeudesta ja täten tiivistyskonelajista (kuva 21). Edullista on liittää tiivistys



Kuva 21. Lämpötilan, tiivistyskonetyypin ja tiivistämisen ajoituksen vaikutus tiiviysasteeseen ja vesipitoisuuden väliseen riippuvuuteen.

levitystyöhön (vrt. konetyyppejä JK20P). Myös muunlaiset omalla moottorivoimalla liikkuvat jyrät (JTM06 ja JK20) ovat lauhalla säällä soveliaita.

Mikäli talvella rakentamisen aikaiset olosuhteet ovat työn lopputulokseen nähden epäedulliset ja tiivistystaso jää puutteelliseksi (tiiviysvaje voidaan arvioida kuvasta 21), hoidetaan jälkitiivistys kesäolosuhteissa yleensä jakavan kerroksen päältä käsin raskaalla tai keskiraskaalla täryjyrällä (esimerkiksi jyrätyypit JTM06...09, JTM00K ja JT05...10 ovat soveltuvia).

3.23 Jakavan kerroksen tiivistäminen

Jakavan kerroksen rakentaminen ajoittuu usein talvikauteen ja tällöin toimintayksiköihin ja niiden suorituskykyihin on kiinnitettävä erityisen suurta huomiota. Jos lämpötila on 0°C tai sen yli, voidaan jakava kerros tiivistää

- levitystyön yhteydessä puskulevykoneella (JK20P)
- levitystyön jälkeen kumipyöräjyrällä (JK20)
- jos lisäksi eristyskerros ei ole vielä jäänyt, myös käyttämällä jyrätyyppejä JTM06...09 tai JTM00K, jolloin eristyskerroskin tiivistyy.

Muutoin ei talvella pidä täryjyriä käyttää jakavan kerroksen tiivistyksessä. Lämpötilan ollessa $-2...-10^{\circ}\text{C}$ riippuu tiivistystyön onnistuminen ennen kaikkea

- materiaalin rakeisuudesta ja vesipitoisuudesta
- tiivistystyön ajoituksesta ja kuormauskapasiteetista
- tiivistyskoneesta
- materiaalinottopaikasta ja kuljetusetäisyydestä.

Viime mainitussa tapauksessa tiivistystyö tulisi tehdä joko levitystyön yhteydessä tai heti sen jälkeen. Jo 2 tunnin viive heikentää tiivistämistyön lopputulosta. Tiivistämis- ym. työt nopeutuvat, jos materiaalia tuodaan tarpeeksi ja riittävällä nopeudella levityskohteeseen: kuormauskoneen kapasiteetin tulisi olla noin $200 \text{ m}^3/\text{td}/\text{h}$ normaalia jyrää ja noin $150 \text{ m}^3/\text{td}/\text{h}$ puskulevyllä varustettua jyrää (JK20P) käytettäessä.

Työn suorituksen kannalta jyrän tulee olla itsekulkeva (edestakainen liikerata). Materiaalia ei saa päästä jäätymään sorakuopalla, vaan työn alkaessa mahdollisesti jäänyt pintakerros esimerkiksi kuoritaan pois. Kuormausmatka vaikuttaa heikentävästi maa-aineksen tiivistyvyyteen. Pakkassäällä sora-aineksin saattaa jäätymä jo $6...8 \text{ km}$ ajomatkan jälkeen - toisinaan jopa ennenkin, $3...4 \text{ km}$ jälkeen pakkasen kovuudesta riippuen.

Talvitiivistyksen suorittamisen osalta viitataan julkaisuihin /5/ ja /6/.

Jos kuitenkin jakavan kerroksen tiiviys jää puutteelliseksi, suoritetaan lämpimänä vuodenaikana jälkitiivistystä. Tiivistystyömäärä ja toimintayksikön laatu riippuvat tällöin mm. siitä, tarvitseeko eristyskerrosta tiivistää vai ei. Ensinmainitussa tapauksessa raskaiden ja keskiraskaiden täryjyrien käyttö on perusteltua. Muutoin myös kumipyöräjyrien käyttö on mahdollista. Jakavan kerroksen tiivistämisessä kesäolosuhteissa tarvittava työmäärä riippuu mm. alkutiiviydestä ja suoritettavasta kastelusta. Tarvittava jyräskertamäärä vaihtelee tavallisesti yli 5 t painavilla täryjyrillä $2...16$ ja kumipyöräjyrillä (yli 20 t)

16...20. Jakavan kerroksen sekä jakavan ja eristyskerroksen samanlaisen tiivistystyön osalta viitataan TVH:n standardeihin n:o 3034...3036 sekä julkaisuun /5/.

3.24 Kantavan kerroksen tiivistäminen

Kantavan kerroksen tiivistäminen suoritetaan yleensä kesäkautena. Tiivistämisessä on edullista käyttää nopeakulkuisia, omalla moottorivoimalla kulkevia jyriä, kuten esimerkiksi kumipyöräjyriä JK20 tai täryjyriä JTM00K ja JTM06. Myös vedettävät täryjyrät JT00...05 soveltuvat kantavan kerroksen jyräykseen.

Kiviainesta - varsinkaan mursketta - ei tarvitse välttämättä kastella käytettäessä täryjyriä. Sen sijaan kumipyöräjyriä käytettäessä on kastelu yleensä välttämätöntä.

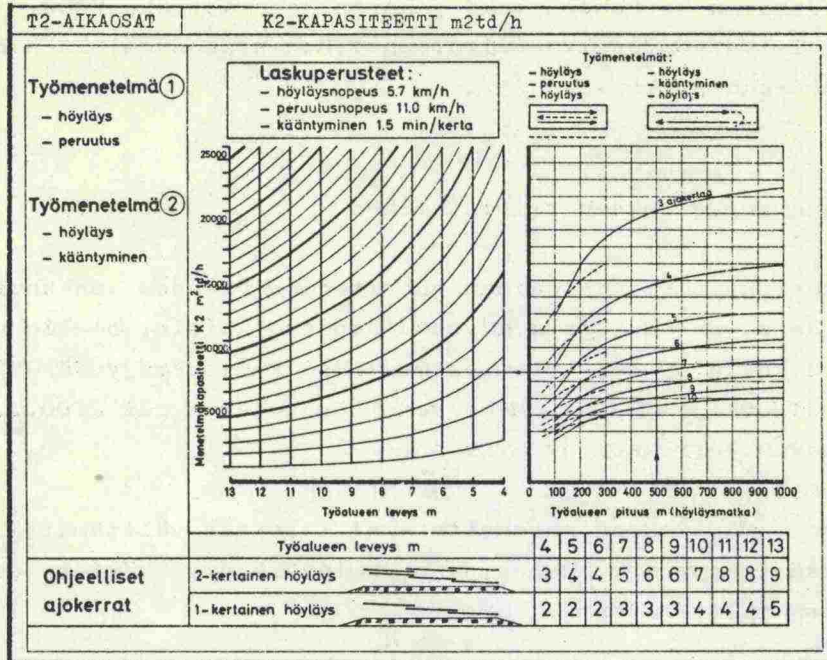
Käytettäessä täryjyriä on varottava liiallisesta jyräämisestä, koska jakava kerros menettää helposti tärytyksen takia kiinteyttään: 2...4 jyräyskertaa yleensä riittää. -Kumipyöräjyrillä voidaan ajaa 4...6 kertaa.

Jyräysnopeutena käytetään täryjyrillä 5 km/h ja kumipyöräjyrillä 8...10 km/h. -Muilta osin jyräyksen suoritukseen nähden viitataan TVH:n standardeihin n:o 3034...3036 sekä julkaisuun /5/.

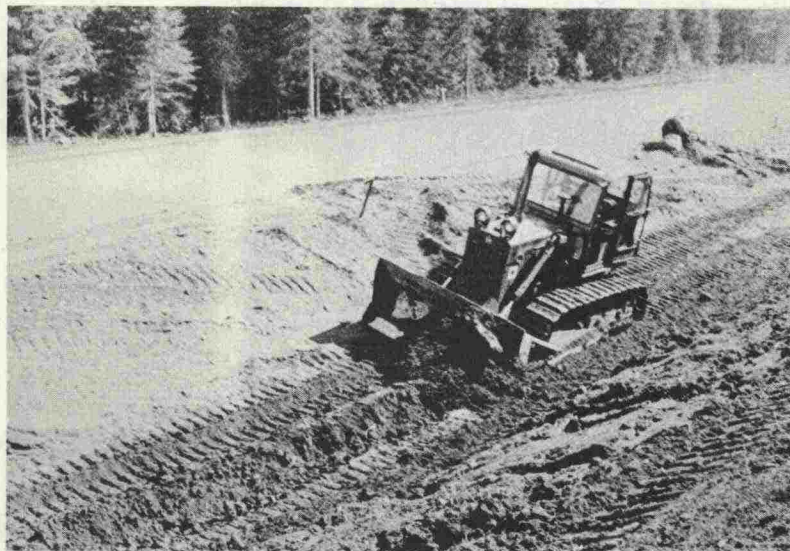
3.3 Viimeistely

Viimeistelytöillä tarkoitetaan tässä yhteydessä levitetyn ja mahdollisesti tiivistetyn kerroksen profilointia ja tasausta oikean muotoiseksi ja oikealle tasolle sekä eräissä tapauksissa myös luiskatyötä. Kerrosten viimeistely suoritetaan tavallisesti tiehöylällä.

Eristys- ja jakavan kerrosten tasoittaminen on yleensä vastaavanlaista: kokeneen kuljettajan tarvitsee suorittaa tiehöylällä 2...3 ylityskertaa/koneen työleveys saadakseen kyseisen kerroksen oikean muotoiseksi ja oikealle korkeustasolle käytetystä levityskoneesta riippumatta (edellyttäen, ettei kerroksen paikkausta tai täydennystä tarvita). Tiehöylän työsaavutukset voidaan arvioida kuvasta 22.



Kuva 22. Kerrosten viimeistelyhöyläyksen työsaavutuksia ja ohjeellisia ajokertamääriä /1/.



Kuva 23. Luiskan muotoilua telapuskutraktorilla.



Kuva 24. Luiskan viimeistelyä autoalustaisella luiskakoneella

Kantavan kerroksen muotoilu saattaa olla aivan edellä esitetyn kaltainen. Tietyissä tapauksissa kantavan kerroksen viimeistelyyn sisältyy myös kerroksen kastelu ja jyräys riippuen mm. siitä, onko kantavan kerroksen päällä ollut liikennettä vai ei, ja tuleeko päällyste heti viimeistelyn jälkeen. Kantavan kerroksen viimeistelytyö on yksityiskohdaisesti esitetty TVH:n standardissa n:o 2.667. Pelkän tiehöyläviimeistelyn osalta on työsaavutus saatavissa kuvasta 22.

Viimeistelytyöhön voidaan sisällyttää myös luiskatyö. Luiskatöiden suuruus riippuu oleellisesti kerrosten paksuudesta, luiskan kaltevuudesta, materiaalmäärän oikeellisuudesta ja levityskoneesta. -Puskulevyllä varustetulla kumipyöräjyrällä ei kyetä tekemään luiskia. Pyörätraktoreilla voidaan **tehdä** matalia luiskia. Tiehöylällä luiskasiipeä käyttämällä voidaan luiskat viimeistellä useissa tapauksissa riittävän laajasti. Monessa tapauksessa suoritetaan luiskien valmistus telapuskutraktorilla jo materiaalin levitysvaiheessa. Usein kuitenkin luiskat tehdään lopulliseen kuntoon päällysrakenteen yläosan rakentamisen vaiheessa autoalustaisella kaivukoneella (KKA16...KKA20). Koska viime mainittu systeemi on varsin yleinen, ei luiskatyötä työnsuorituksena käsitellä tässä sitomattomien rakennekerrosten rakentamisen yhteydessä.

4. MATERIAALIN KÄSITTELYVAIHEIDEN TAHDISTAMINEN

Kuormaus - kuljetus - levitys - tiivistys - työt muodostavat tien rakentamisessa kokonaisuuden, jossa yhden osan epäonnistunut suoritus vahingoittaa työn lopputulosta sekä laadullisesti että rahallisesti. Työvaiheiden tulee niveltä toisiinsa niin, ettei turhia katkoja suorituksetjuun ilmaannu, eikä jonkin vaiheen suorittaja ole suorituskäynnissä ylärajalla.

Toimintayksikköjen valintaan vaikuttaa monia seikkoja. Optimaalista kokonaisuutta ei aina ole saatavissa ja niinpä erään vaiheen toimintayksikkö sanelee muiden vaiheiden toimintayksiköt - niin ainakin pitäisi, jotta ei esimerkiksi eräiden koneiden joutokäyntiä ilmaantuisi.

Seuraavassa esitetään penkereen, eristyskerroksen ja jakavan kerroksen rakentaminen talvella kuormauksen, levityksen, tiivistyksen, kuljetuksen ja viimeistelyn sekä aputyöiden toimintayksikköjen osalta. Lisäksi esitetään esimerkkitapaus sitomattoman kantavan kerroksen rakentamisesta.

4.1 Penkereen rakentaminen

Kerroksittain tai kiilamaisesti tapahtuvassa penkereen rakentamisessa käytettävät optimaaliset toimintayksiköt voidaan valita kuvan 25 perusteella. Kuvassa 25 olevan nomogrammin käyttöä selventäneen seuraava esimerkki:

Moreenipenkereen rakentamisessa on mahdollista käyttää seuraavia toimintayksikköjä:

- kuormaus	KUP 18, KKH 25 K
- levitys	PT 05, JK 20 P
- tiivistys	JK 20 (P)
- viimeistely	TH 13
- kuljetus	n : KA
- aputyö	n • RM (+ TJ)

Kuljetusetäisyys materiaalinottopaikalta rakennuskohteeseen on 9...10 km. Moreenimaan kaivuluokka on M2. Mikä koneyhdistelmä kyseisessä tapauksessa on edullisin penkereen rakentamisessa?

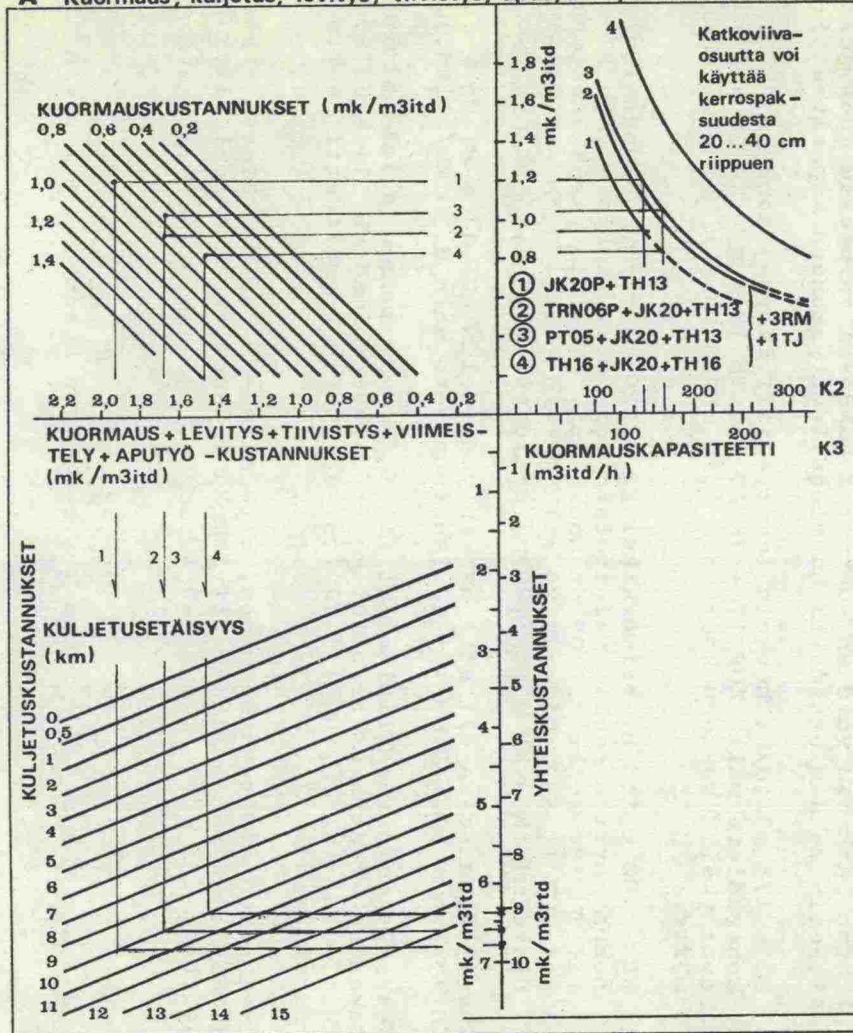
R a t k a i s u:

Nomogrammista saadaan kustannuksiksi:

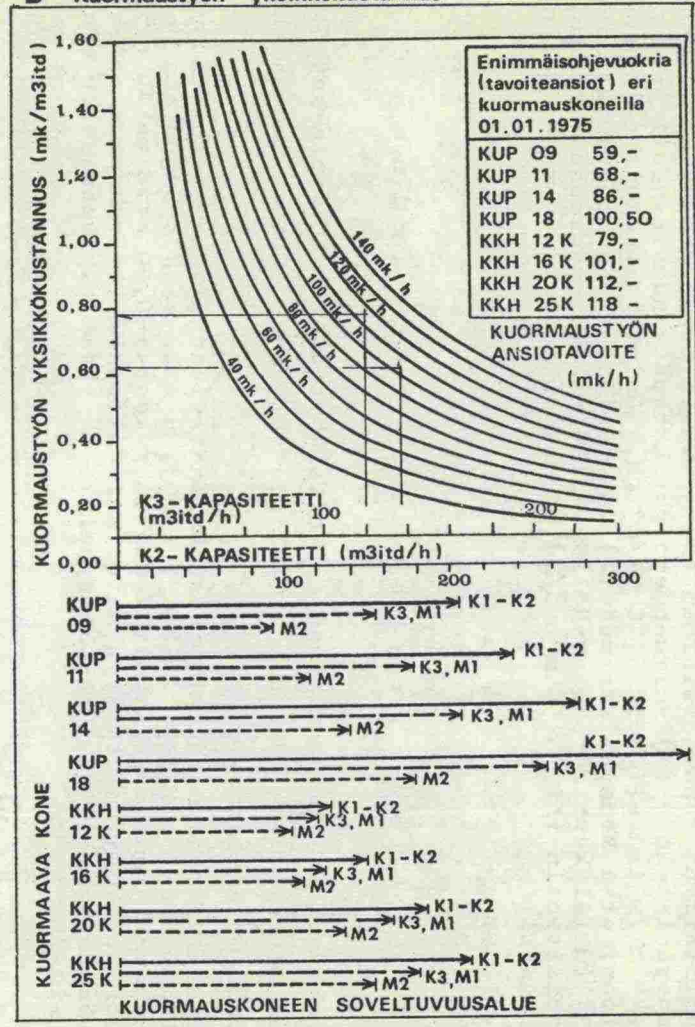
- 1) Koneyhdistelmällä KKH 25 K + PT 05 + TH 13 + n • KA
6,85 mk/m3itd (9,85 mk/m3rtd)
- 2) Koneyhdistelmällä KKH 25 K + JK 20 P + TH 13 + n • KA
6,55 mk/m3itd (9,30 mk/m3rtd)
- 3) Koneyhdistelmällä KUP 18 + PT 05 + JK 20 + TH 13 + n • KA
6,55 mk/m3itd (9,30 mk/m3rtd)

Kuva 25. Penkereen rakentamisessa käytettävien toimintayksikköjen yhteenliittäminen.

A Kuormaust, kuljetus, levitys, tiivistys, aputyö -yksikkökustannus



B Kuormaustyön yksikkökustannus



- 4) Koneyhdistelmällä KUP 18 + JK 20 P + TH 13 + n · KA (+aputyöt):
6,40 mk/m³itd (9,15 mk/m³rtd).

Edullisimman koneyhdistelmän (4) ja tässä tapauksessa huonoimman koneyhdistelmän (1) välinen ero yksikkökustannuksissa oli noin 0,45 mk/m³itd eli noin 0,70 mk/m³rtd. On otettava kuitenkin huomioon, että koneyhdistelmää (1) kuten ei myöskään koneyhdistelmää (3) tulisi käyttää pakkassäällä, sillä tässä tapauksessa kuormauskapasiteetin ($K_2 = 150 \text{ m}^3\text{itd/h}$) pienuuden takia työ etenee liian hitaasti.

4.2 Eristyskerroksen rakentaminen

Eristyskerroksen rakentamisessa talvella käytettävät toimintayksiköt voidaan valita kuvan 12 avulla. Valinta voidaan suorittaa seuraavan esimerkin mukaisesti.

Eristyskerroksen rakentamiseen on saatavissa seuraavat toimintayksiköt: KUP 11, TH 13, JK 20 P, PT 05, n · KA sekä työnjohtaja ja apuhenkilökuntaa. Tarkoituksena on rakentaa 0,30 m³rtd paksu eristyskerros. Kuljetusetaisyys materiaalinottopaikalta rakennuskohteeseen on 9...10 km. Mikä koneyhdistelmä tässä tapauksessa on edullisin?

Ratkaistu:

Tehtävän ratkaisu voidaan suorittaa kahdessa vaiheessa kuormauskapasiteetin mukaan ottamalla huomioon levityskoneen kapasiteetti:

- 1) $K_2 \leq 175 \text{ m}^3\text{itd/h}$: huokein levitys-(tiivistys-) kone on JK 20 P; koneyhdistelmällä KUP 11 + JK 20 P + TH 13 + n · KA ja aputyöillä ovat yksikkökustannukset noin 6,20 mk/m³itd eli noin 8,70 mk/m³rtd.
- 2) $K_2 > 200 \text{ m}^3\text{itd/h}$, esimerkiksi $K_2 = 220 \text{ m}^3\text{itd/h}$, voidaan levityskoneena käyttää edellä mainituista toimintayksiköistä vain PT 05 tai TH 13, joista PT 05 on huokeampi. Tällöin yksikkökustannukset KUP 11 + PT 05 + JK 20 + TH 13 + n · KA + 3 RM + 1 TJ -yhdistelmällä ovat noin 5,90 mk/m³itd eli noin 8,45 mk/m³rtd.

Tässä tapauksessa oli siis halvin yhdistelmä KUP 11 + PT 05 + JK 20 + TH 13 + n · KA + 3 RM + 1 TJ (kustannusero noin 0,30 mk/m³itd.).

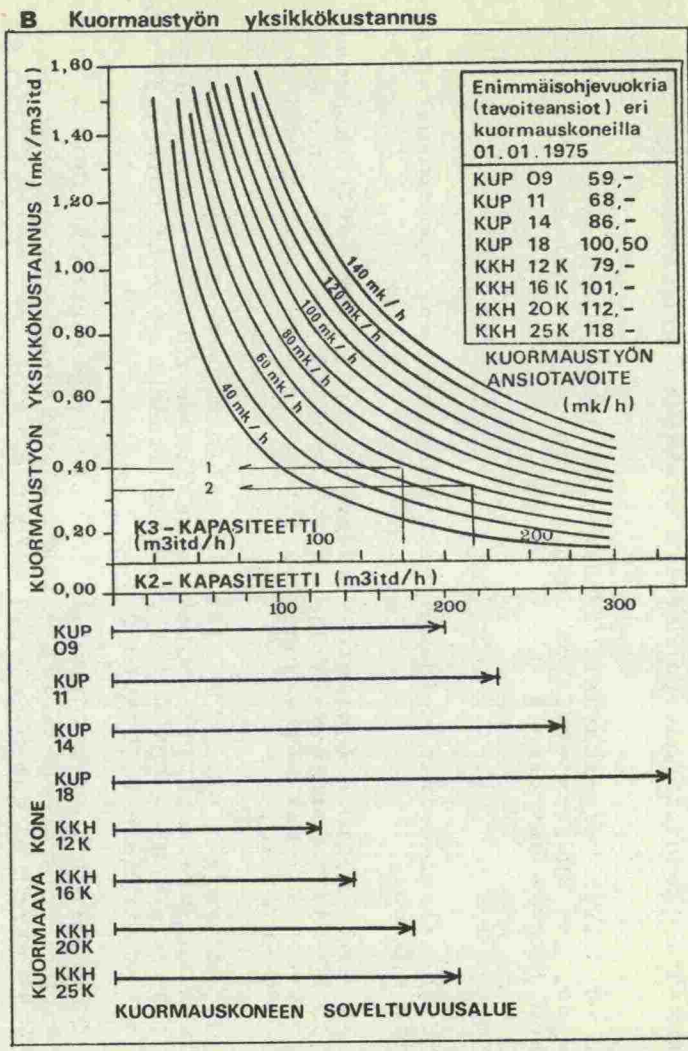
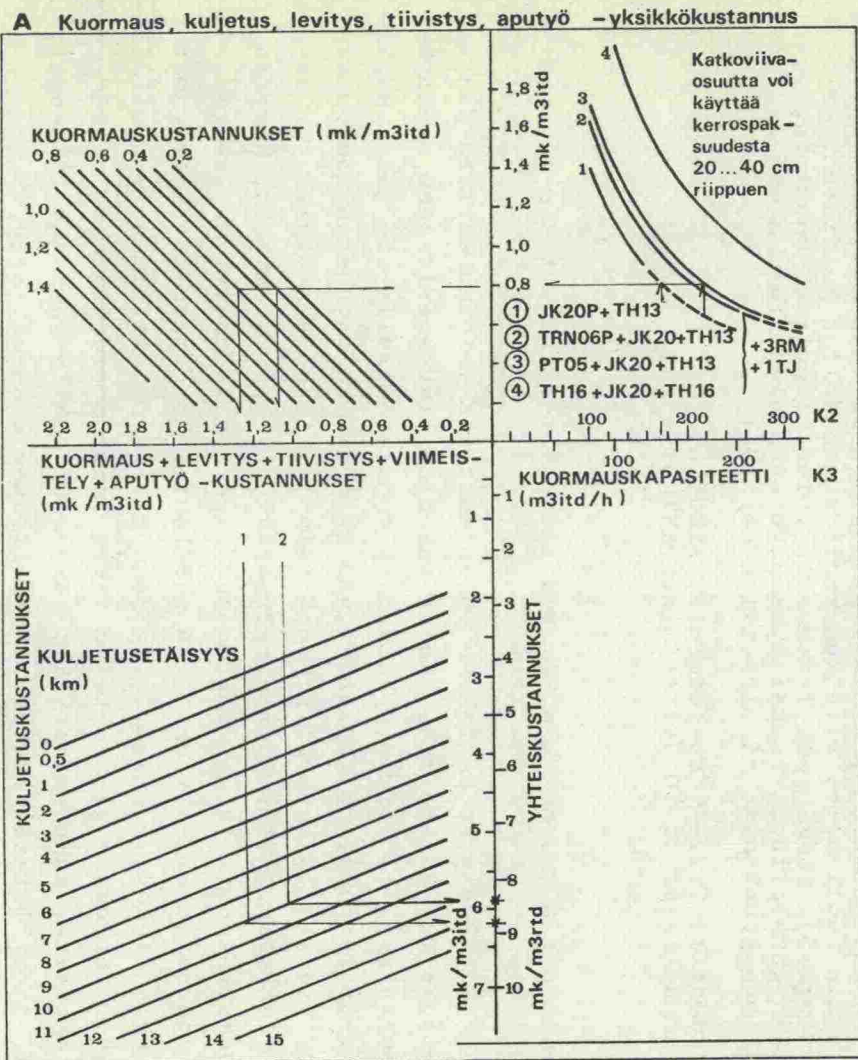
Jos eristyskerros olisi ollut yli 0,35 m³rtd paksu, olisi halvin tapa rakentaa eristyskerros ollut käyttää yhdistelmää KUP 11 + JK 20 P + TH 13 + n · KA + 3 RM + 1 TJ (ts. JK 20 P:n kapasiteetti asettaa rajoituksia).

Lisäksi on otettava huomioon, että alle -2 °C:n pakkasessa saatetaan JK 20 P:llä saada aikaan tiiviimpää rakennelmaa kuin pelkällä JK 20:lla.

4.3 Jakavan kerroksen rakentaminen

Jakavan kerroksen rakentamiseen soveltuvat toimintayksiköt voidaan valita kuvan 27 mukaan. Yksittäiset koneet eivät oleellisesti poikkea eristyskerroksen vastaavista tapauksista. Sen sijaan rakentamisen lopputulos riippuu joskus ratkaisevastikin suoritettavasta valinnasta -

Kuva 26. Eristyskerroksen rakentamisessa käytettävien toimintayksiköiden yhteenliittäminen.



esimerkiksi tiivistyskoneen valinta tulisi suorittaa ulkoisten olosuhteiden mukaan eikä yksistään muiden toimintayksikköjen sanelemien ehtojen mukaan. Konevalinnan perusteita esitetään seuraavassa esimerkissä.

Mikä on halvin toimintayksikköyhdistelmä jakavan kerroksen rakentamisessa, jos kuljetusetäisyys on 5...6 km ja rakennetaan 0,30 m³td paksua jakavaa kerrosta?

R a t k a i s u

Tehtävän ratkaiseminen voidaan tehdä kolmessa osassa kuormauskapasiteetin mukaan:

- 1) $K_2 \leq 175 \text{ m}^3\text{td/h}$ (jolloin voidaan käyttää vielä levityskoneena JK 20 P): toimintayksikköjen KUP09 + JK 20 P + TH13 + n · KA + 3RM + 1 TJ yksikkökustannukset ovat noin 4,70 mk/m³td eli noin 6,80 mk/m³rtd.
- 2) $175 \text{ m}^3\text{td/h} < K_2 \leq 230 \text{ m}^3\text{td/h}$ (jolloin voidaan käyttää kuormauskoneena vielä KUP11): toimintayksikköjen KUP11 + TRN06P + JK20 + TH13 + n · KA + 3RM + 1TJ yksikkökustannukset ovat noin 4,55 mk/m³td eli noin 6,50 mk/m³rtd.
- 3) $230 \text{ m}^3\text{td/h} < K_2 \leq 270 \text{ m}^3\text{td/h}$: toimintayksikköjen KUP14 + PT05 + JK20 + TH13 + n · KA + 3RM + 1TJ yksikkökustannukset ovat noin 4,45 mk/m³td eli noin 6,40 mk/m³rtd.

Yksikkökustannukset yleensä alentuvat kuormauskapasiteetin kasvaessa siitäkkin huolimatta, että konekanta suurenee (ja kallistuu, vrt. tapaus n:o 3). Koska työn laatuunkin tulee kiinnittää huomiota, suoritetaan konevalinnat osaksi myös ulkoisten olosuhteiden mukaan, jolloin halvinta konekantaa ei aina voida käyttää:

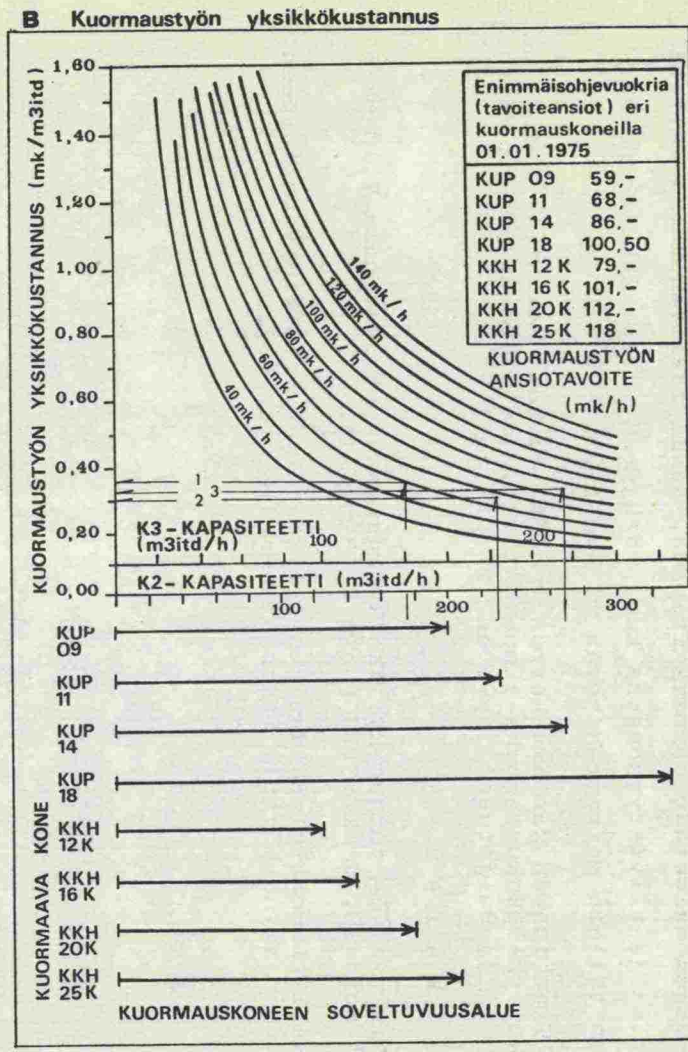
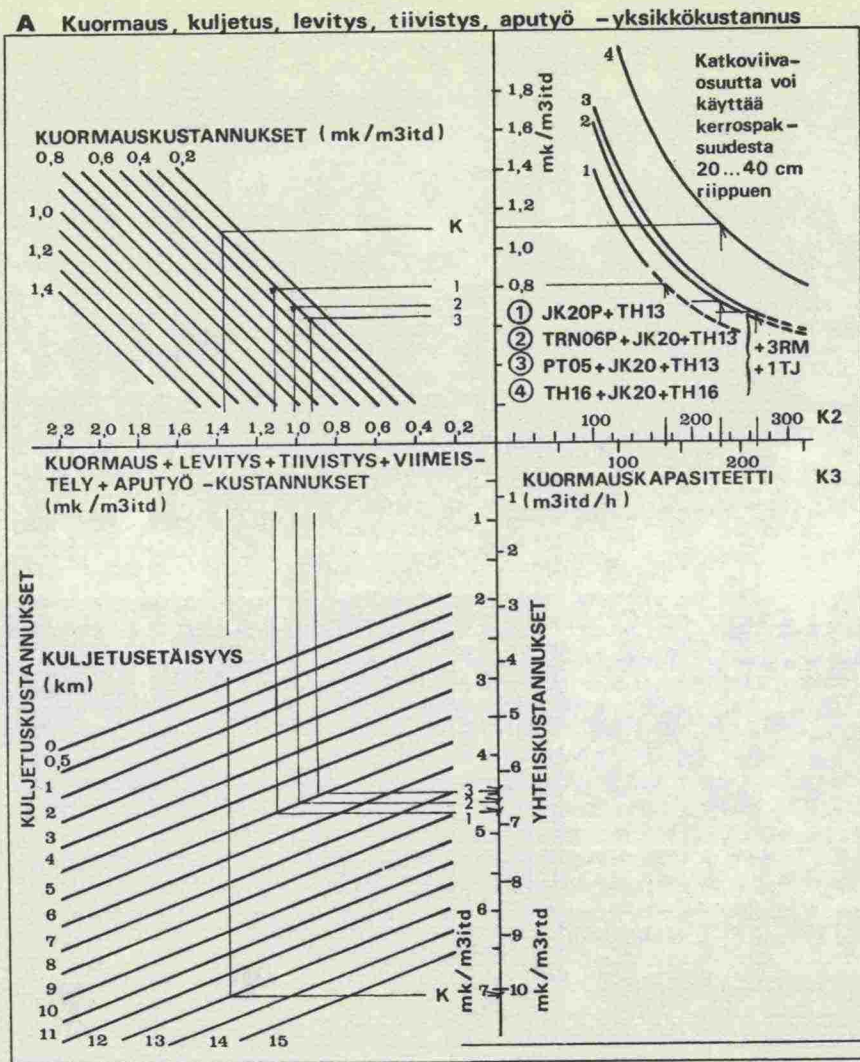
- lämpötila 0...-1 °C: toimintayksiköt n:o 3
- lämpötila -2...-10 °C: toimintayksiköt n:o 1.

4.4 K a n t a v a n k e r r o k s e n r a k e n t a m i n e n

Sitomattoman kantavan kerroksen rakentamisessa voidaan käyttää useita toimintayksikköyhdistelmiä. Koska rakentamistyö suoritetaan usein ke-
säolosuhteissa, ei toimintayksikköjen tahdistamisella ole juuri merkitystä työn laatuun, mutta sen sijaan kylläkin kustannusten suuruuteen. Koneyhdistelmät poikkeavat yleensä vain levityskoneen osalta: on käytetty tiehöylää, nelivetoista pyörätraktoria (puskulevyllä), kevyttä telapuskutraktoria taikka kuorma-auton perään asennettavaa levityskelkkaa. Joskus materiaali on lavan perälautaa korottamalla vedetty matoksi. Usein tiehöylää on käytetty jonkun toisen levittimen työn viimeistelyssä. Kerroksen viimeistelyn tarve riippuu oleellisesti vallitsevasta tilanteesta, onko esimerkiksi kerroksen päällä kulkenut liikennettä vai ei, ja millaista levityskonetta alunperin on käytetty.

Kiviaineksen kastelun tarpeellisuus riippuu kiviaineksen kosteuden ohella myös käytettävästä jyrästä: kumipyöräjyrätiivistyksessä kastelu yleensä on tarpeen. Kastelun suorituksen yksityiskohtainen tarkastelu

Kuva 27. Jakavan ja kantavan kerroksen rakentamisessa käytettävien toimintayksikköjen yhteenliittäminen.



sivuutetaan tässä yhteydessä (ks. julkaisu /7/).

Seuraavassa esitetään esimerkkitapaus, jossa levityskoneena käytetään tiehöylää ja tiivistyskoneena kumipyöräjyrää. Yksikkökustannukset voidaan tällöin määrittää kuvan 27 avulla.

0,25 mrtdpaksu kantava kerros tehdään luonnon sorasta. Kuinka suu-
riksi yksikkökustannukset nuodostuvat, jos kuormauskoneena käytetään
KUP 11 ja kuljetusetäisyys on 12...13 km ?

R a t k a i s u

(ks. kuva 27, tunnus K): Yksikkökustannukset ovat noin 7,10 mk/m³itd
eli noin 10,10 mk/m³rtd (noin 2,53 mk/m²).

Mikäli viimeistelytöiden yksityiskohtainen selvittely on tarpeen,
voidaan siinä käyttää TVH:n standardia n:o 2667.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Kantavan kerroksen sitomattoman osan rakentaminen: kerroksen levitys levityskelkalla, TVH standardi n:o 2.668.
2. Kantavan kerroksen sitomattoman osan rakentaminen: kerroksen muotoiluhöyläys tai kelkalla levitetyn kerroksen tasaus, TVH standardi n:o 2.667.
3. Niskanen, O.: Louheen kuormaus avolouhinnassa. TVH 2.855. Helsinki 1972.
4. Pyöräkuormaaaja maarakennustöissä. TVH 2.872. Helsinki 1974.
5. Saarela, A.: Maakerrosten tiivistämisestä. TVH 2.872. Helsinki 1974.
6. Saarela, A.: Talvitiivistyksen vaikutuksesta tien alusrakenteen ja sitomattomien päällysrakennekerrosten tiiviyksiin. ACTA UNIVERSITATIS OULUENSIS, Series C. Technica No 4, Oulu 1974.
7. Saarela, A.: Tien rakennekerrosten kastelemisesta. Tiemies 2. 1974.
8. Tienrakennustyöt, yleinen työselitys (1500...1600). TVH 2.459...2.460, Helsinki 1974.
9. Tuokkola, A., Nissinen, R.: Maa- ja kivimassojen kuljetukset. TVH 2.868. Helsinki 1974.
10. Yleisten teiden ja siltojen rakentaminen 1973. TVH 2.894. Helsinki 1974.